

**POTENSI BIO-OIL DARI REJECT PLASTIC HASIL PROSES KATALITIK PIROLISIS
SEBAGAI SUMBER ENERGI TERBARUKAN**
*POTENTIAL OF BIO-OIL FROM REJECT PLASTIC RESULTS FROM CATALYTIC PROCESS OF
PYROLYSIS AS A RENEWABLE ENERGY SOURCE*

Siti Masriani Rambe, Sari Farah Dina, Edwin Harianto Sipahutar, Kana Maulina Maha
Baristand Industri Medan
Mail : siti_masriani@yahoo.com

ABSTRAK

Telah dilakukan Penelitian proses pirolisis limbah reject plastic dengan menggunakan katalis fly ash dari batubara. Penelitian dilakukan di Laboratorium USU Medan dan Baristand Industri Medan dengan menggunakan variasi jumlah katalis yaitu 0, 10, 20 dan 40% dari berat *reject plastic*. Saat proses pirolisis dilakukan pada suhu yang bervariasi yaitu 300; 350 dan 400 °C. Indikator dari potensi Bio-Oil dari reject plastic dapat di analisa dengan melihat viskositas, densitas serta nilai kalor dari rendemen bio-oil yang diperoleh. Hasil proses pirolisis diperoleh adanya peningkatan jumlah katalis fly ash pada proses pirolisis sekaligus meningkatkan jumlah bahan bakar bio-oil yang dihasilkan. Penggunaan katalis fly ash dalam jumlah yang berlebih dapat memproduksi lebih banyak gas sulit terkondensasi yang menyebabkan peningkatan jumlah katalis fly ash lebih lanjut akan menurunkan jumlah bahan bakar minyak. Jumlah bahan bakar cair tertinggi didapat pada pirolisis menggunakan katalis 40% yaitu pada suhu proses 400 °C dengan jumlah bahan bakar minyak sebesar 70 ml. Pada proses pirolisis tanpa katalis jumlah bahan bakar minyak tertinggi didapat pada suhu proses 350 °C yaitu sebesar 47 ml.

Kata kunci: *Bio-Oil, Katalis, Fly Ash, Reject Plastic, Pirolisis*

ABSTRACT

Research has conducted on pyrolysis process of plastic reject waste using fly ash catalyst from coal. The research was conducted at the USU Laboratory in Medan and the Medan Industrial Baristand by using variations in the number of catalysts, namely 0, 10, 20 and 40% of the reject plastic weight. When the pyrolysis process is carried out at varying temperatures of 300; 350 and 400 °C. An indicator of the potential of Bio-Oil from reject plastic can be analyzed by looking at the viscosity, density and heating value of the yield of bio-oil obtained. The results of the pyrolysis process obtained an increase in the number of fly ash catalysts in the pyrolysis process while increasing the amount of bio-oil fuel produced. The use of an excess amount of fly ash catalyst can produce more difficult condensable gases which cause an increase in the number of fly ash catalysts which will further reduce the amount of fuel oil. The highest amount of liquid fuel is obtained in pyrolysis using a 40% catalyst at a process temperature of 400 °C with a total fuel oil of 70 ml. In the pyrolysis process without catalyst the highest amount of fuel oil was obtained at a temperature of 350 °C which is 47 ml.

Keywords: *Bio-Oil, Catalyst, Fly Ash, Plastic Reject, Pyrolysis*

PENDAHULUAN

Penggunaan plastik di Indonesia meningkat seiring berkembangnya teknologi yang berdampak pada meningkatnya jumlah sampah plastik yang dihasilkan. Kebanyakan sampah plastik tersebut dibuang ke TPA (Tempat Pembuangan Akhir) yang kemudian umumnya dibakar atau didaur ulang. Sayangnya pembakaran sampah akan menimbulkan emisi gas berbahaya seperti CO₂, CO, NO_x, dan SO_x (A. P. Ramadhan et al., 2013). Oleh karena itu, dibutuhkan cara alternatif untuk mengubah sampah plastik menjadi sesuatu yang

lebih berguna diantaranya sebagai bahan bakar minyak (BBM).

Kebutuhan bahan bakar di Indonesia sangat meningkat akan tetapi tidak seimbang dengan hasil produksi dalam negeri. Penggunaan BBM di sektor transportasi mencapai 65%, pembangkit listrik 16%, industri 10%, rumah tangga 2%, komersial 1%, dan sektor lainnya 6%, dari total kebutuhan BBM pada tahun 2011 yang mencapai 70,89 juta kL. Dibandingkan tahun 2010, jumlah tersebut mengalami peningkatan 4,04% dari sebelumnya 68,14 juta kL (Anonim, 2012). Sejak satu dekade

yang lalu, Indonesia telah mengimpor dari negara luar untuk memenuhi kebutuhan bahan bakar dalam negeri. Salah satu upaya untuk menghasilkan BBM adalah melalui metode pirolisis dengan memanfaatkan limbah plastik sebagai bahan baku.

Pirolisis adalah proses dekomposisi secara termal yang terjadi tanpa adanya oksigen dimana molekul hidrokarbon besar dipecah menjadi molekul hidrokarbon yang lebih kecil menghasilkan produk berupa gas, cair, dan padatan. *Fast pyrolysis* menghasilkan bahan bakar cair yang disebut sebagai bahan bakar minyak. *Slow pyrolysis* menghasilkan beberapa gas dan padatan berupa arang dimana salah satu dari bahan bakar paling kuno, digunakan untuk pemanasan dan ekstraksi logam sebelum penemuan batubara (P. Basu, 2010).

Dalam proses pembuatan bahan bakar minyak, katalis memiliki peranan yang sangat penting terhadap kualitas hidrokarbon yang dihasilkan. Katalis digunakan untuk menurunkan energi yang terjadi pada proses pembakaran (R. Ernawati, 2011). Katalis tidak hanya mempengaruhi struktur produk, tapi juga hasil bahan bakar minyak yang (P. S. Kumar, 2017).

Fly ash merupakan salah satu material yang dapat digunakan sebagai katalis dalam pembuatan bahan bakar minyak. *Fly ash* juga bisa disebut *coal fly ash* (CFA) merupakan produk samping yang dihasilkan selama proses pembakaran batubara berupa partikel abu-abu atau serbuk halus. *Fly ash* yang keluar dari tungku dikumpulkan dengan presipitator elektrostatik atau *baghouse* dan kemudian *fly ash* dapat dimanfaatkan atau ditimbun. Sejauh ini, umumnya *fly ash* menjadi produk samping industri yang dianggap sebagai polutan lingkungan [6].

Di Kota Medan terdapat sebuah perusahaan yang memproduksi kertas dari hasil pengolahan kembali (*recycle*) kardus bekas. Perusahaan ini menghasilkan limbah berupa *reject plastic* sebesar 16 ton/hari yang merupakan campuran 98% HDPE dan 2% jenis plastik lainnya. Selain itu, perusahaan kertas tersebut memiliki *power plant* dengan kebutuhan bahan bakar batubara sebesar 30 ton/hari. *Power plant* tersebut menghasilkan *coal fly ash* sebanyak 5 ton/hari dengan komposisi utama berupa 65,43% SiO_2 dan 19,07 % Al_2O_3 (Anonim, 2016).

Berbagai penelitian tentang pembuatan bahan bakar minyak telah dilakukan, diantaranya adalah pengolahan sampah plastik jenis PP, PET, dan PE menjadi bahan bakar minyak dan karakteristiknya.

Hasil dari penelitian tersebut menunjukkan bahwa plastik dengan jenis PP menghasilkan minyak paling banyak dan nilai kalor minyak tersebut lebih tinggi dibandingkan solar, bensin, LPG, maupun minyak tanah. Plastik berjenis PET tidak menghasilkan minyak akan tetapi menghasilkan material berbentuk serbuk. Minyak yang dihasilkan dari pengolahan sampah plastik PP dan PE tersebut dapat digolongkan kedalam minyak jenis bensin dan minyak tanah (U. B. Surono, et al., 2016).

Penelitian lainnya yang telah dilakukan adalah konversi limbah termoplastik menjadi bahan bakar dengan pirolisis katalitik. Penelitian tersebut dilakukan dengan menggunakan bahan baku *high density polyethylene* (HDPE) yaitu tas jinjing yang dilakukan dalam reaktor berkapasitas satu liter dengan jumlah bahan baku sebanyak 200-300 g. Kondisi inert pada tekanan atmosferik dibuat di dalam reaktor dengan menginjeksikan gas nitrogen. Plastik tersebut dipirolisis dengan suhu maksimum 550 °C. Penelitian tersebut dilakukan dengan tanpa menggunakan katalis, zeolit alami, dan alumina. Waktu pirolisis tanpa katalis dan menggunakan katalis masing-masing adalah 3,5 jam dan 2,5 jam. Hasil yang diperoleh tanpa katalis, menghasilkan minyak sekitar 60-62% dengan densitas sebesar 0,777-0,779 dan nilai kalor sebesar 30,145-30,563 MJ/kg; dengan 5% hasil zeolit alami menghasilkan minyak sekitar 65-67% dengan densitas sebesar 0,778-0,782 dan nilai kalor sebesar 33,494-34,750 MJ/kg; dan dengan katalis alumina 5% menghasilkan minyak sekitar 70-71% dengan densitas sebesar 0,780-0,785 dan nilai kalor sebesar 35,169-36,425 MJ/kg. Hasil analisis minyak menggunakan GC-MS menunjukkan adanya fraksi bensin ($\text{C}_5\text{-C}_{10}$), kerosin ($\text{C}_{11}\text{-C}_{13}$), dan diesel ($\text{C}_{13}\text{-C}_{18}$) dengan fraksi berat molekul tinggi lainnya yaitu $\text{C}_{20}\text{-C}_{37}$ (YB Sonawane et al., 2014).

Penelitian lain yaitu tentang perancangan dan uji alat pirolisis LDPE (*Low Density Polyethylene*) menjadi bahan bakar. Penelitian tersebut menggunakan proses pirolisis dengan waktu reaksi 10 menit. Hasil dari penelitian didapatkan volume yang dihasilkan dari tiga variasi suhu 700°C adalah 140 ml, 210 ml, dan 365 ml dengan nilai densitas 0,7291 gr/ml, 0,7563 gr/ml, dan 0,7336 gr/ml serta nilai kalor 36,290 J/gr, 28,517 J/gr, dan 40,124 J/gr. Minyak yang dihasilkan memiliki nilai kalor yang mendekati minyak tanah dan bensin. Dari hasil penelitian optimum diantara tiga variasi suhu yang dilakukan adalah pada 700°C (al, 2017).

Penelitian lain yaitu tentang kajian pemanfaatan sampah plastik sebagai sumber bahan bakar cair. Penelitian tersebut dilakukan dengan menggunakan bahan kantong kresek, botol oli, dan

botol aqua sebagai bahan baku dengan jumlah bahan baku sebanyak 500 g. Hasil dari penelitian tersebut diperoleh volume sebanyak 450 ml dari kantong kresek dengan waktu yang digunakan 930 detik dengan suhu 300 °C, 400 ml dari botol oli dengan waktu yang digunakan 1515 detik dengan suhu 415 °C, dan 420 ml dari botol aqua dengan waktu yang digunakan 1221 detik dengan suhu 400°C (Kadir, 2012).

Hasil beberapa penelitian diatas menunjukkan bahwa beberapa jenis plastik dapat diolah menjadi bahan bakar minyak mengingat potensi yang cukup besar. Oleh karena itu, pada penelitian ini diusulkan upaya untuk memanfaatkan *reject plastic* menggunakan katalis *coal fly ash* untuk pembuatan bahan bakar minyak dari limbah sebuah pabrik kertas di kota Medan.

Pada penelitian ini akan dilakukan upaya untuk pembuatan produk bernilai ekonomis berupa BBM dengan memanfaatkan limbah yang ada dilingkungan yaitu *reject plastic* dari limbah proses *recycle* kardus bekas menjadi kertas sebagai bahan bakudan *coal fly ash* dari limbah *power plant*

- Variabel Berubah
 - Jumlah *fly ash* = tanpa katalis (0%); 10%; 20%; dan 40% dari berat *reject plastic*.
 - Suhu pirolisis = 300, 350 dan 400°C

Analisis yang dilakukan pada produk adalah:

- Analisis Yield
- Analisis densitas.

sebagai katalis. Berdasarkan latar belakang yang telah disampaikan, maka penelitian ini akan mengkaji bagaimana pengaruh suhu dan rasio jumlah *fly ash* dengan berat *reject plastic* terhadap *yield* dari BBM yang dihasilkan dengan menggunakan reaktor pirolisis.

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan kondisi proses terbaik dalam pembuatan bahan bakar minyak (BBM) berbahan baku *reject plastic* dan katalis *coal fly ash* dari segi *yield* dan karakteristiknya.

BAHAN DAN METODE

Penelitian ini akan dilakukan di Laboratorium Proses Industri Kimia, Universitas Sumatera Utara dan Laboratorium Baristand Industri Medan yang digunakan dalam penelitian ini adalah *reject plastic* dan katalis *fly ash* batubara yang diperoleh dari sebuah perusahaan kertas di Medan.

Variabel dalam penelitian ini adalah:

- Variabel Tetap
 - Waktu Pirolisis = 2 jam
- Analisis viskositas.
- Analisis nilai bakar dengan kalorimeter bom.

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Proses perangkaian peralatan Penelitian

Proses perangkaian peralatan pirolisis dapat dilihat pada gambar 1. Proses perangkaian tersebut dilakukan dengan kapasitas 3 kg *reject*.



Gambar 1. Perangkaian peralatan pirolisis

B. HASIL PIROLISIS

Rendemen Hasil Pirolisis Reject Plastic

Proses pirolisis *reject plastic* dilakukan pada suhu reaktor 300°C, 350°C,

dan 400°C dengan variasi massa katalis yang digunakan adalah 0%, 10%, 20%, dan 40% dari berat plastik. Pada pirolisis *reject plastic* didapatkan hasil bahwa volume cairan tertinggi adalah pada saat suhu sebesar 400 °C dan terendah pada suhu 300°C, masing-masing sebesar 70 ml

dan 15 ml seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1.

Dari Tabel 4.1 diketahui bahwa pada suhu 300 °C, volume yang dihasilkan tanpa penggunaan katalis dan menggunakan katalis 10%; 20%; dan 40% adalah 30 ml; 35 ml; 40 ml; dan 15 ml, serta memiliki wujud cair. Pada suhu 350 °C,

Tabel 4.1 Hasil Proses Pirolisis *Reject Plastic*

Temperatur (°C)	Jumlah katalis (%)	Volume (ml)
300	0	30
	10	35
	20	40
	40	15
350	0	47
	10	50
	20	60
	40	50
400	0	30
	10	40
	20	50
	40	70

Volume yang dihasilkan tanpa penggunaan katalis dan menggunakan katalis 10%; dan 20% adalah 47 ml; 50 ml; 60 ml; serta memiliki wujud cair sedangkan menggunakan katalis 40% adalah 50 ml, memiliki wujud seperti *slurry*. Pada suhu 400 °C, volume yang dihasilkan tanpa penggunaan katalis dan menggunakan katalis 10%; 20%; dan 40% adalah 30 ml; 40 ml; 50 ml; dan 70 ml, serta memiliki wujud *slurry*. Penggunaan katalis yang berlebih mempengaruhi volume minyak yang dihasilkan menjadi lebih sedikit yaitu pada suhu 300 °C dan 350 °C dengan variasi katalis 40%.

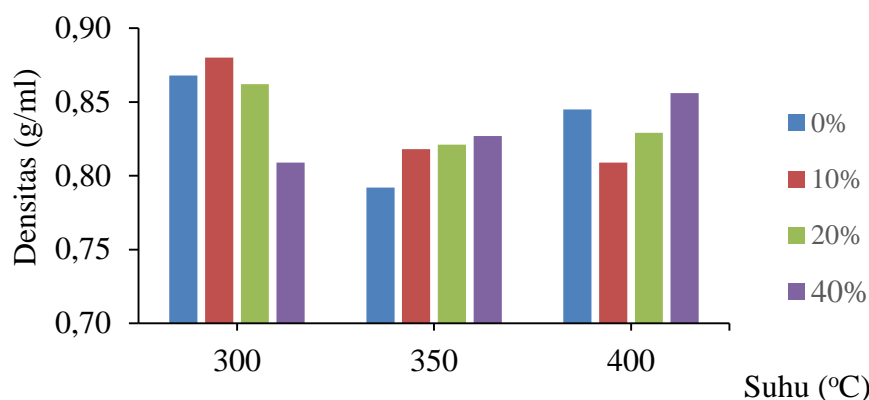
Analisa Yield Hasil Reject Plastik

Parameter analisis bahan bakar minyak yang dihasilkan meliputi analisis

kualitas densitas, viskositas dan *heating value*.

Pengaruh Suhu dan Jumlah Katalis terhadap Densitas

Penentuan nilai densitas dilakukan dengan cara terlebih dahulu menimbang massa sampel untuk setiap 10 ml per sampel. Selanjutnya nilai densitas dihitung dengan menggunakan Persamaan 1. Densitas (massa jenis) adalah pengukuran massa setiap satuan volume benda. Hal ini dikarenakan setiap zat memiliki densitas yang berbeda. Semakin tinggi densitas suatu benda, maka semakin besar pula massa setiap volumenya (U. S.Dharma,et.al., 2015). Hasil analisis densitas dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Pengaruh Suhu dan Jumlah Katalis terhadap Densitas

Dari Gambar 2 diketahui bahwa pada suhu 300 °C, densitas yang dihasilkan tanpa penggunaan katalis dan menggunakan katalis 10%; 20%; dan 40% adalah 0,868 g/ml; 0,880 g/ml; 0,862 g/ml; dan 0,809 g/ml. Pada suhu 350 °C, densitas yang dihasilkan tanpa penggunaan katalis dan menggunakan katalis 10%; 20%; dan 40% adalah 0,792 g/ml; 0,818 g/ml; 0,821 g/ml; dan 0,827 g/ml. Pada suhu 400 °C, densitas yang dihasilkan tanpa penggunaan katalis dan menggunakan katalis 10%; 20%; dan 40% adalah 0,845 g/ml; 0,809 g/ml; 0,829 g/ml; dan 0,856 g/ml. Densitas yang dihasilkan pada penelitian ini berada dalam rentang 0,792 – 0,880 g/ml pada suhu 28 °C sedangkan densitas standar untuk *diesel fuel* yaitu 0,815 – 0,870 g/ml pada suhu 15 °C (P. Ani et al, 2008) dan densitas standar untuk *gasoline* yaitu 0,715 – 0,770 g/ml pada suhu 15 °C (O. Sidjabat, 2013).

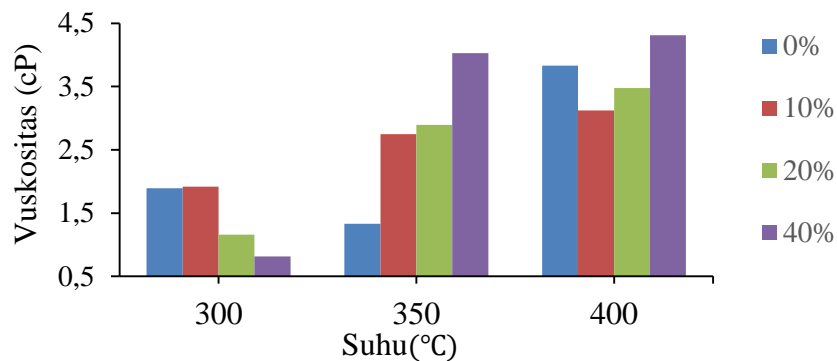
Hasil pirolisis memiliki dua fasa dengan warna yang berbeda. Fasa yang dibawah berwarna coklat muda, sedangkan fasa yang di atas berwarna coklat tua. Meskipun dapat dipisahkan, namun cairan tersebut tidak dapat dipisahkan secara sempurna sehingga pada saat pengujian densitas ada pengotor yang terikut dengan produk. Hal ini disebabkan produk yang dihasilkan

dipengaruhi oleh suhu yang digunakan. Semakin tinggi suhu yang digunakan maka produk yang dihasilkan akan semakin ringan. Dimana semakin tinggi suhu yang digunakan maka hidrokarbon ringan yang dihasilkan akan semakin banyak (G. E. Totten et.al., 2003).

Pengaruh Suhu dan Jumlah Katalis terhadap Viskositas

Pengujian bahan bakar minyak hasil pembakaran *reject plastic* dilakukan dengan menggunakan Viskosimeter Ostwald yang digunakan untuk mengetahui besar nilai kekentalan dari bahan bakar minyak yang dihasilkan tersebut.

Viskositas berperan penting pada pelumasan dan sistem injeksi bahan bakar, terutama pada mesin yang dilengkapi dengan pompa *rotary injection* yang sangat mengandalkan bahan bakar untuk pelumasannya dalam mekanisme pemompaan tingkat tinggi. Bahan bakar yang mempunyai viskositas yang lebih rendah meningkatkan resiko kebocoran pada pompa injektor yang menyebabkan pengiriman bahan bakar tidak maksimal dan mengurangi *power output* mesin (S. Wibowo, 2016). Hasil analisis viskositas dapat dilihat pada Gambar 3



Gambar 3. Pengaruh Suhu dan Jumlah Katalis terhadap Viskositas

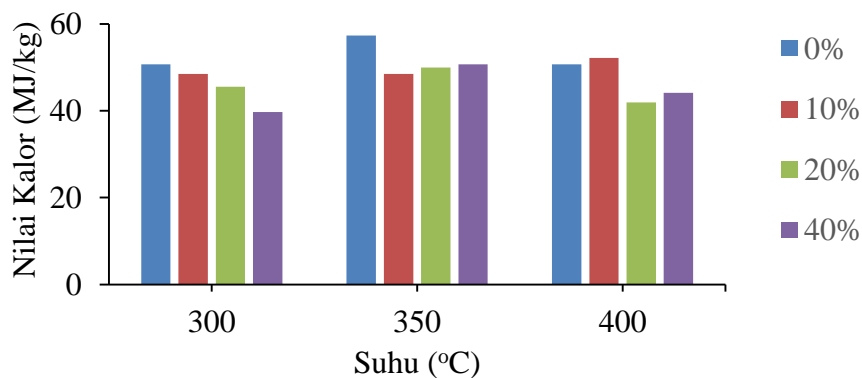
Dari Gambar 3 diketahui bahwa pada suhu 300 °C, viskositas yang dihasilkan tanpa penggunaan katalis dan menggunakan katalis 10%; 20%; dan 40% adalah 1,894 cP; 1,920 cP; 1,158 cP; dan 0,815 cP. Pada suhu 350 °C, viskositas yang dihasilkan tanpa penggunaan katalis dan menggunakan katalis 10%; 20%; dan 40% adalah 1,329 cP; 2,746 cP; 2,894 cP; dan 4,026 cP. Pada suhu 400 °C, densitas yang dihasilkan tanpa penggunaan katalis dan menggunakan katalis 10%; 20%; dan 40% adalah 3,829cP; 3,124cP; 3,479cP; dan 4,310cP. Viskositas yang dihasilkan pada penelitian ini adalah 0,815 - 4,310 cP pada suhu 28 °C sedangkan viskositas standar untuk *diesel fuel* yaitu 2-5 cSt pada suhu 40°C O (Sidjabat, 2013)

Viskositas produk bahan bakar cair adalah ukuran ketahanan bahan bakar

untuk mengalir, yang mempengaruhi pada aliran dalam sistem injeksi. Viskositas yang lebih tinggi akan mengurangi laju alir yang sesuai untuk tekanan injeksi dan mengurangi derajat atomisasi (S. Wibowo, 2016).

Nilai Kalor

Nilai kalor dapat didefinisikan sebagai energi kalor yang dikandung tiap satuan massa bahan bakar (S. Wibowo, 2016). Pengujian nilai kalor untuk mengetahui berapa nilai kalor bahan bakar tersebut yang akan dibandingkan dengan nilai kalor bahan bakar minyak standar (G. E. Totten et.al., 2003). Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai kalor minyak pirolisis cukup tinggi. Hasil analisis viskositas dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Pengaruh Suhu dan Jumlah Katalis terhadap Nilai Kalor

Dari Gambar 4 diketahui bahwa pada suhu 300 °C, nilai kalor yang dihasilkan tanpa penggunaan katalis dan menggunakan katalis 10%; 20%; dan

40% adalah 50,735 MJ/kg; 48,529 MJ/kg; 45,588 MJ/kg; dan 39,706 MJ/kg. Pada suhu 350 °C, nilai kalor yang dihasilkan tanpa penggunaan katalis dan

menggunakan katalis 10%; 20%; dan 40% adalah 57,353 MJ/kg; 48,529 MJ/kg; 50,000 MJ/kg; dan 50,735 MJ/kg. Pada suhu 400 °C, nilai kalor yang dihasilkan tanpa penggunaan katalis dan menggunakan katalis 10%; 20%; dan 40% sebesar 50,735 MJ/kg; 52,206 MJ/kg; 41,911 MJ/kg; dan 44,118 MJ/kg. Nilai kalor yang dihasilkan pada penelitian ini adalah 41,91-57,35 MJ/kg sedangkan nilai kalor standar untuk *diesel fuel* yaitu 42,640 MJ/kg dan nilai kalor standar untuk *gasoline* yaitu 43,330 MJ/kg (Chevron Corporation, 2005).

Hal ini menunjukkan bahwa adanya perbedaan yang mempengaruhi nilai kalor yang dapat disebabkan karena unsur penyusun dari minyak pirolisis *reject plastic* berbeda.

Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian yang telah dilakukan adalah:

1. Kenaikan suhu pirolisis menaikkan jumlah bahan bakar minyak sampai titik suhu dimana produksi gas yang sulit terkondensasi lebih banyak sehingga peningkatan suhu pirolisis lebih lanjut akan menurunkan jumlah bahan bakar minyak.
2. Peningkatan jumlah katalis *fly ash* pada proses pirolisis meningkatkan jumlah bahan bakar minyak yang dihasilkan namun penggunaan katalis *fly ash* dalam jumlah yang berlebih dapat memproduksi lebih banyak gas sulit terkondensasi yang menyebabkan peningkatan jumlah katalis *fly ash* lebih lanjut akan menurunkan jumlah bahan bakar minyak.
3. Jumlah bahan bakar cair tertinggi didapat pada pirolisis menggunakan katalis 40% yaitu pada suhu proses 400 °C dengan jumlah bahan bakar minyak sebesar 70 ml. Pada proses pirolisis tanpa katalis jumlah bahan bakar minyak tertinggi didapat pada suhu proses 350 °C yaitu sebesar 47 ml.

DAFTAR PUSTAKA

- A. P. Ramadhan dan Munawar A (2013), "Pengolahan Sampah Plastik Menjadi Minyak Menggunakan Proses Pirolisis," *Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan*, 4(1) : hal 44-53.
- Anonim (2012), Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, "Kajian Supply Demand Energy," Pusat Data dan Informasi Energi dan Sumber Daya Mineral, 2012.
- Anonim (2016), Kementerian Perindustrian, "Kajian Hasil Survey Dalam Rangka Identifikasi Masalah di PT. Evergreen International Paper," Medan, 2016.
- Chevron Corporation (2007), "Diesel Fuels Technical Review".
- Ernawati.R, (2011), "Konversi Limbah Plastik sebagai Sumber Energi Alternatif," *Jurnal Riset Industri*, 5(3) hal 257-263.
- G. E. Totten, S. R. Westbrook, R. J. Shah (2003), "Fuels and Lubricants Handbook," ASTM International, Pennsylvania.
- Kadir (2012), "Kajian Pemanfaatan Sampah Plastik Sebagai Sumber Bahan Bakar Cair," *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 3 (2): hal 223-228.
- O. Sidjabat (2013), "The Characteristics of A Mixture of Kerosene and Biodiesel as A Substituted Diesel Fuel," *Scientific Contributions Oil & Gas*, 36(1) : hal 37 – 44
- P. Ani dan Sumarni (2008) *Studi Eksperimental Proses Pirolisis Plastik Low Density Polyethylene (LDPE)*, AKPRIND, Yogyakarta.
- P. Basu (2010), "Biomass Gasification and Pyrolysis," Elsevier, United States.
- P.S. Kumar, M., Bharathikumar, C. Prahakaran, S. Vijayan, dan K. Ramakrishnan (2017), "Conversion of Waste Plastics into Low-Emissive Hydrocarbon Fuels Through Catalytic Depolymerization in A New Laboratory Scale Batch

- Reactor.”*Int J Energy Environ Eng*, 8 : hal 167-173.
- S. Wibowo (2016), “Karakteristik Bio-Oil dari Limbah Industri Hasil Hutan Menggunakan Pirolisis Cepat,” *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 34(1) : hal 61-76.
- T. Landi dan Arijanto (2017), “Perancangan dan Uji Alat Pengolah Sampah Plastik Jenis LDPE (Low Density Polyethylene) Menjadi Bahan Bakar Alternatif,” *Jurnal Teknik Mesin S-1*, 5(1) : hal 1-8.
- U. B. Surono dan Ismanto (2016), “Pengolahan Sampah Plastik Jenis PP, PET, dan PE menjadi Bahan Bakar Minyak dan Karakteristiknya,” *Jurnal Mekanika dan Sistem Termal (JMST)*, 1(1) : hal 32-27.
- U. S.Dharma dan D. Irawan (2015), “Analisa Karakteristik Minyak Plastik Hasil Dua Kali Proses Pirolisis,” *Jurnal Turbo*, 4(1): hal 7-11.
- YB Sonawane, MR Shindikar, dan MY Khaladkar (2014), “Onsite Conversion of Thermoplastic Waste into Fuel by Catalytic Pyrolysis,” *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, 3(9) : hal 15903-15908.